

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
 - TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
 - FADED TEXT
 - ILLEGIBLE TEXT
 - SKEWED/SLANTED IMAGES
-
- COLORED PHOTOS
 - BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
 - GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



(12) Wirtschaftspatent

Teilweise bestätigt gemäß § 18
Absatz 1 Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

PATENTSCHRIFT

(11) DD 218 499 B1

5(51) H 01 S 3/13

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD H 01 S / 251.823 0

(22) 08.06.83

(45) 14.08.91
(44) 06.02.85

(72) Dietel, Wieland, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DE

(71) Friedrich-Schiller-Universität, August-Bebel-Straße 4, O - 6900 Jena, DE

(54) Verfahren zur Erzeugung kurzer chirpfreier Laserimpulse

ISSN 0433-6461

6 Seiten

Patentanspruch:

Verfahren zur Erzeugung kurzer, chirpfreier Laserimpulse, basierend auf der Methode der Modensynchronisation, dadurch gekennzeichnet, daß der Chirp-Effekt der Laserimpulse innerhalb des Laserresonators durch eine Dispersion der Gruppengeschwindigkeit mittels Variation eines optischen Weges kompensiert wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von kurzen Laserimpulsen variabler Dauer, wobei die Impulsdauer bis zur theoretischen Grenze des Impulsdauer-Bandbreitenproduktes minimiert werden kann. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Impulse mit variabler Impulsdauer bis herab zu 50 fs generieren. Das ermöglicht die zeitaufgelöste Spektroskopie im fs-Bereich, insbesondere die Untersuchung von ultrakurzen Prozessen in der Molekül- und Festkörperphysik, der Optoelektronik, der Photochemie und Biologie. Von Interesse sind die generierten Impulse weiterhin für die optische Informationsverarbeitung und Signalübertragung, für die Untersuchung der Impulsausbreitung in optischen Fibern und für die optische Time-Domain-Reflektometrie.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die Methode der passiven Modensynchronisation (Appl. Phys. Lett. 24 [1974] 373), bei der sich ein sättigbarer Absorber im Laserresonator befindet, gestattet die Erzeugung stabiler untergrundfreier Laserimpulse. Mit Farbstoffringlasern im sogenannten CPM-Regime /1/ werden Laserimpulse kürzer als 100 fs erzielt. Nachteilig bei den bisher realisierten Varianten der passiven Modensynchronisation ist, daß die generierten Impulse einen mehr oder weniger großen Chirp aufweisen und damit länger sind als es dem theoretisch möglichen Minimalwert des Impulsdauer-Bandbreitenproduktes entspricht. Das ist besonders für die Erzeugung kürzester Laserimpulse, also bei passiv modensynchronisierten Farbstoffringlasern von Bedeutung. Nachteilig bei dieser Methode ist weiterhin, daß die Impulsdauer bei Konstanthaltung der anderen Impulsparameter nur wenig verändert werden kann.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein Verfahren zur Erzeugung von kurzen Laserimpulsen, bei denen die Impulse keinen Chirp mehr besitzen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, das auf der Grundlage der Modensynchronisation die Erzeugung chirpfreier Impulse gestattet, die in ihrer Länge um etwa eine Größenordnung veränderbar sind und bis zur theoretischen Größe des Impulsdauer-Bandbreitenproduktes minimiert werden können. Die Lösung dieser Aufgabe gelingt mit einem Verfahren zur Erzeugung kurzer, chirpfreier Laserimpulse basierend auf der Methode der Modensynchronisation erfindungsgemäß dadurch, daß der Chirp-Effekt der Laserimpulse innerhalb des Laserresonators durch eine Dispersion der Gruppengeschwindigkeit kompensiert wird. Dabei ist es vorteilhaft, den Downchirp durch im Resonator enthaltene Medien mit normaler Dispersion und nichtlinearem Verlauf der Dispersionskurve und den Upchirp durch im Resonator enthaltene Medien mit anomaler Dispersion und nichtlinearem Verlauf der Dispersionskurve und/oder beugende Elemente im Resonator zu kompensieren.

Für die Kompensation des Downchirp ist es vorteilhaft, eine Anordnung zu verwenden, bei der sich in einem Farbstoffringlaser optische Gläser in Form eines Brewsterprismas oder einer keilförmigen Platte oder zweier Brewsterprismen, die gegeneinander so angeordnet sind, daß sich ihre Winkeldispersion kompensieren läßt, befinden. Nach übereinstimmender Meinung der Fachwelt müssen aus dem Resonator eines modensynchronisierten Lasers, speziell des passiv modensynchronisierten Lasers, alle dispersiven Elemente entfernt werden, damit eine Verbreiterung der Impulse bei ihrer Generation vermieden wird. Das kommt in den Arbeiten der führenden Gruppe zum Ausdruck, z. B. in /1/, /2/, /3/, /4/ und wurde erst kürzlich erneut betont /5/. Es hat sich aber gezeigt, daß diese Meinung keine Allgemeingültigkeit besitzt. Der sich darstellende Sachverhalt soll im folgenden skizziert werden.

Bei der Methode der passiven Modensynchronisation befindet sich neben dem verstärkenden Medium ein sättigbarer Absorber im Laserresonator. Beim Durchgang der Impulse durch den Absorber, den Verstärker und durch dispersive Bauelemente können die Impulse einen Chirp enthalten, d. h. ihre Trägerfrequenz variiert vom Impulsanfang zum Impulsende. Wenn die Impulse einen Chirp besitzen, sind sie nicht mehr bandbreitenbegrenzt und damit länger als es dem Impulsdauer-Bandbreitenprodukt entspricht.

Für die Entstehung des Chirps im Laserresonator kommen zwei Ursachen in Frage. Das ist einmal die Dispersion (Frequenzabhängigkeit) der Gruppengeschwindigkeit, die durch den nichtlinearen Verlauf der Dispersionskurve auftritt. Durchläuft ein chirpfreier Impuls ein Medium normaler Dispersion und mit einem nichtlinearen Verlauf der Dispersionskurve, so wird er verbreitert, es entsteht eine langwellige Impulsvorderfront und ein kurzwelliges Impulsende. Der Impuls hat einen sogenannten Upchirp erhalten. Impulse mit Upchirp entstehen in modensynchronisierten Lasern, die dispersive Materialien von hinreichender Länge aufweisen, z. B. dotierte Gläser bei Festkörperlaser.

Die zweite Ursache für die Entstehung des Chirps ist die Intensitätsabhängigkeit des Brechungsindex. Bei hoher Leistungsdichte der Laserstrahlung wird der Brechungsindex zeitlich moduliert, was zu einer Phasenmodulation und zu einem Upchirp der Impulse führt. Dieser Prozeß spielt bei Leistungsdichten größer 10^{10} W/cm^2 eine Rolle. Wie die durchgeführten experimentellen Untersuchungen /6/ zeigen, wird bei passiv modensynchronisierten Farbstofflasern jedoch ein Downchirp der Impulse beobachtet. Ein solcher Impuls besitzt eine kurzweilige Impulsvorderfront und ein langweiliges Impulsende. Der Downchirp entsteht durch eine zeitliche Variation des Brechungsindex infolge der unterschiedlichen Sättigung, die die Impulsvorderfront und das Impulsmaximum erzeugen. Da der Absorber bei der passiven Modensynchronisation naturgemäß stärker gesättigt werden muß als der Verstärker, kann der Sättigungseinfluß des Verstärkers vernachlässigt werden.

Aus der Darstellung des geschilderten Sachverhaltes geht nun hervor, daß in passiv modensynchronisierten Lasern, die keine dispersiven Elemente (oder nur disperse Elemente mit einer Länge in der Größenordnung von einigen mm) enthalten und bei denen keine großen Leistungsdichten auftreten, Impulse mit Downchirp generiert werden. Das trifft für den passiv modensynchronisierten Farbstofflaser zu. Andererseits werden in passiv modensynchronisierten Lasern, die entsprechend lange disperse Strahlwege und/oder hohe Leistungsdichten aufweisen, Impulse mit Upchirp generiert. Das trifft z. B. für den Nd:Glas-Laser mit sättigbarem Absorber zu.

Das Wesen der Erfindung besteht nun darin, den Chirp der Impulse durch geeignete Mittel bereits innerhalb des Laserresonators zu kompensieren, so daß chirpfreie Laserimpulse generiert werden können.

Die Kompensation des Downchirps erfolgt durch Einbringen eines Materials mit normaler Dispersion und nichtlinearem Verlauf der Dispersionskurve in den Laserresonator.

Vorteilhaft für die Kompensation des Downchirps ist der Einsatz von dispergierenden, verlustarmen Materialien wie z. B. Gläser. Bei Variation der Länge des Glasweges variiert die Impulsdauer, sie zeigt bei einem bestimmten Glasweg ein ausgeprägtes Minimum. Bei diesem Glasweg wird der Downchirp durch den nichtlinearen Verlauf der Dispersion kompensiert. Bei kürzeren Glaswegen ist die Kompensation unvollkommen, die Impulse zeigen noch Downchirp, bei längeren Glaswegen ergibt sich Überkompensation, die Impulse zeigen Upchirp. Durch die Variation des Glasweges kann die Impulsdauer bei konstanter Wellenlänge kontinuierlich verändert werden, im vorliegenden Fall um etwa eine Größenordnung. Bei Gläsern mit stärkerer Krümmung der Dispersionskurve erfolgt der Abfall zum Minimum der Impulsdauer schneller, ebenso erfolgt ein steilerer Anstieg der Impulsdauer bei Überkompensation.

Ohne Glasweg im Resonator liegt die Impulsdauer etwa eine Größenordnung über der minimal erreichbaren bei einer bestimmten Wellenlänge. Erst durch Kompensation des Chirps können in diesem Wellenlängenbereich Impulse unter 100 fs erzielt werden. Das zeigt auch die Bedeutung des Verfahrens für die Erweiterung des Wellenlängenbereiches bei passiv modensynchronisierten Lasern.

Die Kompensation des Upchirps erfolgt durch Einbringen beugender Elemente in den Laserresonator. Das erfolgt beispielsweise mittels eines Gitterpaares. Da bei einer Chirpkompensation außerhalb des Resonators der Impuls nur einmal das Gitterpaar passiert, aber bei einer Kompensation innerhalb des Resonators mehrfach, reduzieren sich die Anforderungen an die dispersiven Eigenschaften eines Gitterpaares im Resonator genau in diesem Verhältnis (Photonenlebensdauer im Resonator dividiert durch Resonatorumlaufzeit).

/1/ R. L. Fork, B. I. Green, C. V. Shank Appl. Phys. Lett. 38 (1981) 671

/2/ J.-C. Diels, E. van Stryland, G. Benedict Opt. Commun. 25 (1975) 93

/3/ J.-C. Diels, I. Menders, H. Sallaba Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Picosecond Phenomena, Springer-Verlag 1980, p. 41

/4/ G. A. Mourou, T. Sizer II Opt. Commun. 41 (1982) 47

/5/ C. V. Shank, XIth Int. Quantum Electronics Conference, paper K 2.1, Juni 22, München 1982

/6/ W. Dietel, E. Döpel, D. Kühnke, B. Wilhelmi Opt. Commun. 43 (1982) 433-466

Ausführungsbeispiel

Das Wesen der Erfindung soll für den Fall des passiv modensynchronisierten Farbstoff-Ringlaser an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Es wird für den Farbstofflaser eine verlustarme Resonatorkonfiguration zugrundegelegt, die für die Erzeugung von fs-Impulsen besonders günstig ist.

Der Ringresonator, dargestellt in Fig. 2, wird aus sechs Resonatorspiegeln gebildet, wobei zwei Spiegel 1 und 2 mit einem Krümmungsradius von ca. 5 cm um den Rhodamin 6G-Jet 7 und zwei Spiegel 4 und 5 mit einem Krümmungsradius von ca. 3 cm um den DODCI-Jet 8 angeordnet sind. Der Spiegel 3 besitzt einen Krümmungsradius von 1 bis 1,5 m und befindet sich in einem Abstand von ca. 30 bis 40 cm vom Spiegel 5. Der Spiegel 6 ist eben und dient als Auskoppelspiegel (Reflexionsvermögen ca. 99%). Alle Spiegel tragen übliche dielektrische Beschichtung. Der Umfang des Resonators beträgt ca. 3,60 m, der Abstand zwischen Verstärker- und Absorber-Jet ein Viertel des Umfangs. Die Pumpstrahlung 11 wird über den Pumpspiegel 10 in das aktive Medium 7 eingekoppelt.

Im Resonator befindet sich zur Kompensation des Downchirps ein dispersives Element mit nichtlinearem Verlauf der Dispersionskurve, im einfachsten Fall ein Prisma 9, auf das die Laserstrahlung 12 unter dem Brewsterwinkel trifft. Zur Variation des Glasweges wird das Prisma 9 senkrecht zu seiner Basisfläche verschoben. Als Prismenmaterial eignen sich verlustarme Gläser wie SQ 1 oder auch Flintgläser. Bei den stärker brechenden Flintgläsern ändert sich die Impulsdauer mit Variation des Glasweges wie in Fig. 1 angegeben, bei SQ 1 ist der Verlauf der Kurve flacher, das Minimum der Impulsdauer etwas zu längeren Glaswegen verschoben.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der Chirp-Kompensation innerhalb des Resonators und bei einer extrem niedrigen Pumpleistung von ca. 1 W (alle Argonlaserlinien) konnten Laserimpulse von 55 fs erzeugt werden. Das sind die bisher kürzesten, von einem Laser generierten Impulse.

Eine vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die, bei der die Winkeldispersion des Prismas 9 eingeschränkt oder kompensiert werden kann. Zu diesem Zweck ordnet man, wie in Fig. 3 dargestellt, zwei Prismen 13 und 14 so hintereinander an, daß sich ihre Winkeldispersion kompensieren läßt. Eine resultierende dispersive Wirkung erreicht man, wenn man den Abstand der beiden Prismen 13 und 14 vergrößert. Die Chirpkompensation erfolgt wie angegeben durch Verschiebung eines Prismas oder beider Prismen senkrecht zur Basisfläche.

Chirpkompensation bei reduzierter Winkeldispersion kann man auch mit einer keilförmigen Platte aus Glas oder einem anderen Medium mit ähnlich dispersiven Eigenschaften erreichen. Die Platte wird zweckmäßigerweise unter dem Brewsterwinkel im Resonator angeordnet.



